

平成 30 年 5 月 14 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2017

課題番号：24380131

研究課題名(和文)地盤の浸透破壊におけるメカニズム解明・安定解析・無次元化と総合評価に関する研究

研究課題名(英文)Studies on mechanism, stability analyses, nondimensional formulization and comprehensive evaluation of seepage failure of soil

研究代表者

田中 勉 (Tanaka, Tsutomu)

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：20144602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円

研究成果の概要(和文)：地盤の浸透破壊は、農業用水利施設の改修・更新、土木工事の大規模化・大深度化に伴い新たな問題を引き起こし緊急に解決すべき課題でなっている。本研究では、まず、流れの条件(一次元流、二次元流、二次元集中流、軸対称流、三次元流)を基本的視点として整理し、一連のケースについて実験を行い破壊メカニズムの解明を試みた。次に、実験成果に基づいた数値解析法を用いて、種々の流れ条件の地盤について浸透破壊安定性評価を行った。そして、地盤の浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化について考察を進め、実地盤の事例解析結果を踏まえ、浸透破壊問題について総合評価すなわち「浸透破壊理論の体系的構築に向けての考察」を行った。

研究成果の概要(英文)：For the excavation of soil in an area with a high ground water level, sheet piles or diaphragm walls are often used to retain soil and water. Under such conditions, seepage flow occurs through soil, and seepage failure is often a problem. However, with respect to the mechanism of occurrence of seepage failure, there are many unanswered questions. Seepage failure was discussed from a viewpoint of flow conditions such as 1D-, 2D-, 2D-concentrated, axisymmetric, and 3D flows. Seepage failure experiments were conducted under various flow conditions. Analyses of FEM seepage flow and stability against the seepage failure of soil were also carried out. In this study, with respect to the seepage failure of soil in front of sheet piles, the mechanism and non-dimensional formulization of the critical hydraulic head differences were discussed considering some case studies.

研究分野：水利施設工学

キーワード：浸透破壊 限界水頭差 締切り矢板 流れの条件 PIV解析 事例解析 無次元化

1. 研究開始当初の背景

アースダムや堤防などの破壊事故は約40%が浸透流あるいは浸透に起因した現象に端を発している。その中でも土粒子の移動(パイピング)による内部侵食は、現象が複雑でありいまだそのメカニズムが不明な点が多い。パイピングによる浸透破壊を防止するためにはその発生機構を明らかにする必要がある。締切り矢板前面の地盤の浸透破壊においてもパイピング現象がみられることが知られている。すなわち、水頭差が増加し変形開始時水頭差になると土粒子が矢板下端付近において上流側から下流側へ移動する。これに伴い上流側地盤表面は沈下し下流側地盤表面は隆起する。下流側地盤は土粒子の移動によって新たな力の釣合い状態に移行する。さらに水頭差を増していくと地盤において上流側沈下、下流側隆起が進行する。

上述のように、土構造物の破壊原因の多くが浸透流に起因するものであることが知られており、重要な問題であることは以前から認識されていたが、浸透破壊が進行的に進むという観点からの考察は少なかった。本研究は、まず、浸透破壊問題における Self stabilizing 現象を模型実験や数値解析等から明らかにし、研究代表者らが提案する Prismatic failure の考え方を実験や事例解析から実証し、土粒子の移動による内部侵食のメカニズムを解明し、パイピングによる浸透破壊防止工法を明らかにしようとするものである。

2. 研究の目的

地下水位の高い地盤の掘削では、掘削地盤の前後に浸透流が生じる。浸透水の流れは、一次元流、二次元流、二次元集中流、軸対称流、三次元流など、流れの条件によって大きく影響を受ける。それに伴って、掘削地盤の浸透破壊特性は、流れの条件によって大きく影響をうけることがわかってきた。ここでは、まず、単列矢板前後の二次元浸透流、複列矢板内地盤への二次元集中流、円筒壁内掘削地盤への軸対称集中流、さらに矩形矢板内地盤への三次元的な集中流について考察を行う。そして、三次元浸透破壊プログラム(3D-PFC)の開発を行い、三次元浸透破壊について詳細な解析を行い、流れの条件について総合的な観点から考察する。

浸透破壊問題は、これまで、実際に問題が起こった事例について公表されても、その場限りのものが多かった。ここでは、浸透破壊事例の収集・調査・解析を行い研究代表者らが提案する浸透破壊理論(prismatic failure concept (pfc))の検証を行う。そして、詳細な考察から、浸透破壊メカニズムの解明と問題点の抽出を行う。

これらの知識を統合し、土粒子の移動現象(パイピング)における Self stabilizing effect, 流れの条件を考慮した浸透破壊理論, 安定解析結果の無次元化表示と一般化に向けて理

論構築を行おうとするものである。

3. 研究の方法

地盤浸透破壊理論を構築するために、実験的には、破壊メカニズム解明に向けた一連の大型三次元浸透破壊実験、スケール効果・無次元化(一般化)理論の構築に向けた一連の小型二次元浸透破壊実験、上昇浸透流のある地盤支持力の解明に向けた大型一次元浸透破壊実験を遂行する。理論的には、三次元浸透破壊に対応したプログラム Extended Prismatic failure concept 3Dを開発し、種々の流れ条件による浸透破壊特性について明らかにする。事例解析では、研究代表者らが提案する浸透破壊理論の検証と改良を進める。最終的に、種々の流れ条件に関する浸透破壊に対する安定解析、無次元化(一般化)と総合評価、研究成果に関係する書籍「浸透破壊—事例解析の教えるところ—」、「二次元地盤浸透破壊実験の軌跡」などの執筆に向けて研究を遂行する。

実際には、特に、次のような項目について研究を進める。

(1) 二次元実験地盤の 1/2 模型である小型二次元浸透破壊実験を実施し、

- ① 矢板の根入れ効果, 掘削の影響
- ② 相対密度の効果, 粒径の効果, 層状地盤の効果, そして,
- ③ 実験結果のスケール効果や無次元化・一般化表示, 土粒子挙動の把握と破壊メカニズムなど, について考察を行う。

(2) 実験地盤における異方透水性を調べ、異方透水性の浸透破壊安定性への影響を明らかにする。

(3) 実際に現場で発生した浸透破壊事例について浸透流解析及び浸透破壊に対する安定解析を行い、現在提案されている浸透破壊理論に関する問題点を明らかにするとともに、研究代表者らが提案する浸透破壊理論 Original and Extended Prismatic failure concept の検証を行う。

(4) 一次元流, 二次元流, 二次元集中流, 軸対称集中流, 三次元集中流, 二次元放射流, 軸対称放射流, 三次元放射流条件における浸透流特性と浸透破壊現象の関係について明らかにする。

(5) 書籍「浸透破壊—事例解析の教えるところ—」の執筆に向けて準備する。

4. 研究成果

ここでは、地盤の浸透破壊問題について、次のような観点：(1) 三次元地盤の浸透破壊, (2) 基準類算定式, (3) PIV 解析, (4) 事例解析, (5) 無次元化, (6) 小型二次元浸透破壊実験, から総合的に考察を行い、体系的な浸透破壊

理論構築に向けて研究を遂行した。ここでは、これらの項目について得られた成果を要約する。

(1) 三次元地盤の浸透破壊¹⁾

地下水位の高い地点における地盤の掘削では浸透破壊が問題となる。近年、大規模・大深度掘削が行われるようになり、従来から行われているように二次元と仮定したときの限界水頭差よりも小さな水頭差で破壊が起こることがわかってきた。ここでは、三次元地盤の浸透破壊について、地盤層厚、掘削なし及びありの条件を変えた 20 ケース (E0301～E0320) の実験を行い、実験的、理論的に考察を行い次の結論を得た。① 地盤は、三次元浸透破壊現象に関して矢板角点を中心とする対角線上でクリティカルになる。② 流量急増時水頭差 H_d と変形開始時水頭差 H_y はほぼ等しい。③ 三次元地盤の浸透破壊において Prismatic failure concept 3D による理論解析は妥当である。④ 地盤の変形から破壊に至るまでの水頭差に関する余裕は、掘削なしの場合矢板の根入れ比の増加とともに大きくなるが、掘削ありの場合上流側地盤層厚が一定の条件、言い換えれば、上流側矢板根入れ深さが一定の条件に対して変化しない。⑤ 変形開始時水頭差以降の上流側地盤沈下形状は矢板角点を中心としたすり鉢状であり、すり鉢斜面の角度は水頭差の増加とともに増加し 47°(変形直後)～52°(破壊直前)であった(E0320)。⑥ 下流側地盤の限界プリズムは、上流側から供給される砂粒子によって、より大きな水頭差に対して抵抗する、すなわち、Self-stabilizing effect がある。また、変形開始時水頭差を超える水頭差に対する地盤浸透破壊抵抗力は、砂粒子の上流側から下流側への供給(Potential sands supply)によって増加する。⑦ 限界水頭差は下流側地盤の矢板根入れ深さによって大きく影響され、Self-stabilizing effect は上流側地盤の矢板根入れ深さに大きく影響される。⑧ 掘削なし、掘削ありの場合において、理論限界水頭差 H_c から破壊時水頭差を算定することができる。

(2) 基準類算定式に関する考察²⁾

地下水位の高い地点における地盤の締切り掘削では浸透破壊が問題となる。ここでは、浸透破壊に対する安定性評価手法として、合計 43 件の基準類について文献を収集し考察した。このうち、16 件は著者らの一部が以前まとめたものであり、27 件が今回新たに追加調査したものである。ここでは、まず、流れの条件を 4 種類：二次元流(2D flow)、二次元集中流(2DC flow)、三次元流(3D flow)、軸対称流(AXS flow) に分けて考えた。そして、各種基準類算定式を、その基礎となる考え方に基づいて、次の 6 つのカテゴリーに分類した。① Terzaghi の方法に基づくもの ((1)-1 法, (1)-2 法) ② 限界動水勾配によるもの ((2)-1 法, (2)-2

法)

- ③ クリープ比によるもの ((3)-1 法, (3)-2 法)
- ④ Terzaghi の方法と FEM 浸透流解析に基づくもの ((4)-1 法, (4)-2 法)
- ⑤ Harza または Kochina の方法によるもの ((5)-1 法)
- ⑥ Prismatic failure の考え方に基づくもの ((6)-1 法)

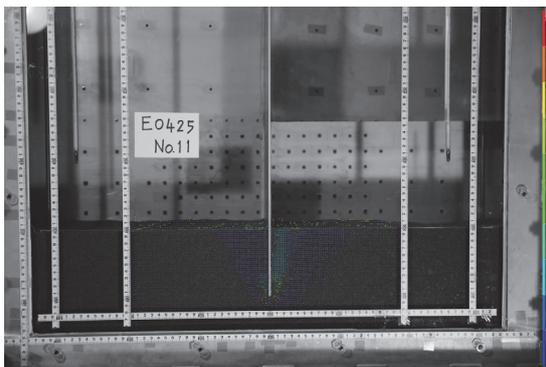
ここで、(1), (2), (4)-(6)法はボーリングに関する安定解析法、(3)法はパイピングに関する安定解析法である。また、(4)-(6)法は、基本的に Terzaghi の方法に基づいており、地盤内水頭値 h を FEM 浸透流解析で求め、その値を用いて浸透破壊に対する限界水頭差を算出する方法である。(1)-(3)法は 2D flow に対応するものであり、(4), (6)法は 2D, 2DC, 3D または AXS flow に対応しようとするものである。

ここでは、上述の 6 つのカテゴリーについて、浸透破壊に対する限界水頭差 H_c 、安全率 F_s の算定方法を示した。安全率 F_s は $F_s = H_c/H$ と定義した。ここに、 H は考えている地盤・水理条件における水頭差である。そして、 H_c の値を、掘削なし及びありの地盤について、各方法に基づいて求め、実際の値(ここでは Prismatic failure の考え方に基づく値)と比較検討し、各種基準類を使用するにあたって注意すべき事項について述べた。ここで、実験結果は Prismatic failure の考え方によって精度良く算定できることから、Prismatic failure の考え方に基づく値を実際の値(正解値)と仮定している。条件を変えた一連の浸透破壊実験 E0401～E0440 を行い、PIV 解析を実施した。

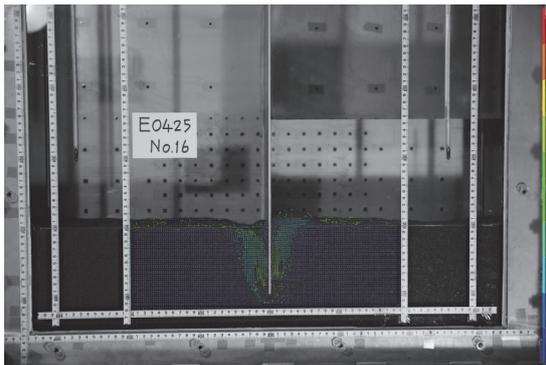
(3) PIV 解析³⁾

実験地盤の砂粒子の挙動を明らかにするために、改良した実験装置を用いて、小型二次元浸透破壊実験を行い、PIV 解析を実施した(図 1 参照)。そして、地盤が破壊するまでの砂粒子の挙動の把握と考察を行った。そして、次のような結論を得た。

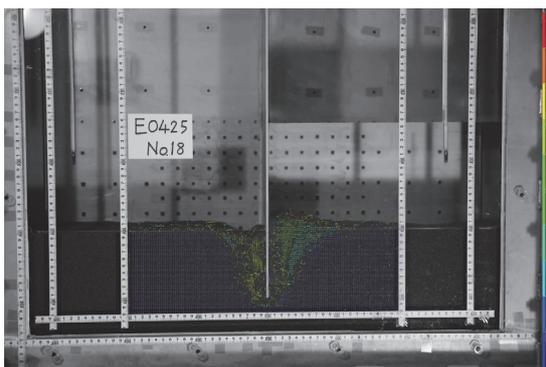
- ① H が H_y ($\approx H_d$) よりも小さな値のときに、矢板下端下流側付近において、砂粒子の移動が観察される。この時点では、地盤表面における上流側沈下や下流側隆起が観測されない。ここに、 H_d 及び H_y は流量急増時水頭差及び変形開始時水頭差である。
- ② 矢板下端下流側付近における砂粒子の移動領域は、Kochina や河野・久保田が定義した γ_{net} が負になる領域とよく一致していることから、この現象は $\gamma_{net} < 0$ 領域の発生と関係があると考えられる。
- ③ 下流側地盤表面に変形が現れるより前に、矢板下端下流側付近で土粒子の移動現象が生じる。実験 E0421～E0425 について、 $H_{piv} = \alpha H_y$ として α の値を求めると、 $\alpha = 0.73 \sim 0.99$ となる。ここに、 H_{piv} は矢板下端下流側付近において砂粒子の塊としての移動が起こり始める時の水頭差である。
- ④ 中密度の細砂を用いた実験では、水頭差が H_y よりも小さな値の時に、矢板下端下流側



(a) $H = 26.727$ cm (変形開始時水頭差)



(b) $H = 29.047$ cm (地盤変形がある程度進んだ状態)



(c) $H = 29.994$ cm (破壊の2段階前)

図1 地盤変形後のPIV解析結果

付近で土粒子の移動が生じることがわかる。したがって、矢板下端付近の土粒子の移動を起こさないためには、施工時における水頭差の限界値(施工限界水頭差)を H_y よりも小さな値に設定しなければならない。

⑤ 矢板下端付近の地盤を締め固める(または、矢板下端付近の地盤の透水係数を小さくすることによって、締切り矢板地盤の浸透破壊に対する安定性を高められる可能性がある。

⑥ 水頭差 H が H_y を越えて大きくなっていくと、地盤形状の変化(上流側地盤の沈下及び下流側地盤の隆起)が進行していくが、砂粒子の移動領域は下流側よりも上流側の方が大きいこと、矢板中央深さあたりでは幅約3.8cm(上流側), 2.9cm(下流側)の範囲の砂が下降及び上昇移動を生じている。また、破壊初期には、砂粒子の移動領域は上下流でほぼ同じ大きさであり、矢板中央深さあたりで幅約4.9cmの範囲となっている。

⑦ 砂の移動範囲は、変形開始時には $D/2$ より少し小さいが、地盤変形の進行とともに大きくなり、また上方へ行くにしたがって広がっていく。

(4) 事例解析

ここでは、複列矢板内地盤の浸透破壊⁴⁾、メタンガスの発生に伴う浸透破壊安定性低下⁵⁾、北九州市で発生したK線道路橋橋脚基礎地盤の浸透破壊⁶⁾、三次元地盤の浸透破壊3事例⁷⁾を取り上げ、詳細な浸透流・浸透破壊安定解析を行い、原因究明と対策工の提案を行った。

(5) 無次元化⁸⁾

浸透破壊問題における限界水頭差の無次元化理論について考察した。ここでは、とくに2D flowにおける浸透破壊問題の無次元化について議論した。まず、安定解析の方法に関してPrismatic failureの考え方について述べ、次に、地盤浸透破壊に対する限界水頭差 H_c の無次元化に関する考え方について述べた。考察においては、流れの条件を二次元流 2D flow, 二次元集中流 2DC flow, 軸対称流 AXS flow に分類して考え、限界水頭差の無次元化理論では「実地盤」及び「それと幾何学的に相似なモデル地盤」について考えた。そして、無次元化の妥当性について考察し次の結論を得た。

① 「無次元量 D/T 」と「無次元量 H_c/T 」をさらに無次元量 γ/γ_w で割って基準化した値 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ の関係を表す式、すなわち、 $D/T \sim H_c\gamma_w/T\gamma'$ 曲線は実地盤とモデル地盤について理論的に同一のものとなる。ここに、 D は矢板の根入れ深さ、 T は地盤層厚、 γ, γ_w は地盤の水中単位体積重量及び水の単位体積重量である。

② 地盤の水中単位体積重量 γ' の値が実地盤及びモデル地盤で異なっても同一の無次元化が可能である。

③ 二次元地盤における無次元化式は、Terzaghiの方法に基づいて、深さ方向に無限な地盤と有限な地盤に関して、次のように表されることを示した。

無限地盤の場合： $H_c\gamma_w/D\gamma' = 1/C_0 = \text{const.}$

有限地盤の場合： $H_c\gamma_w/D\gamma' = 1/C_0 \cdot D/T$

ここに、 C_0 は水理・地盤条件によって決まる定数である。 C_0 は半無限地盤の場合には定数であり、有限地盤の場合には D/T の関数である。

④ 二次元集中流(2DC flow)及び軸対称流(AXS flow)においても、限界水頭差 H_c に関する無次元化は2D flowの場合と同様に可能である。ただし、新しいパラメータとして、2DC flowの場合 b/D , AXS flowの場合 R/D を考慮する必要がある。ここに、 D は矢板の根入れ深さ、 b ($=B/2$)は複列矢板の半幅、 R は円筒止水壁半径である。3D flowにおける浸透破壊問題に関する無次元化についても同様である。この場合、複列矢板の半幅・根入れ比 b/D

のほかに、矢板囲い内(四角形)の平面形状比 W/B を考慮する必要がある。ここに、平面形状(四角形)は短い方の半幅を $B/2$ 、長い方の半幅を $W/2$ とする($B \leq W$)。

⑤ 2D flow, 2DC flow, AXS flow について、実際に解析を行うことによって上で述べた無次元化の妥当性を示した。

ここでは、矢板の厚さ t が 0 で掘削のない地盤の一例についての解析結果を示したが、矢板厚さを考慮した場合、掘削のある地盤についても、浸透領域のスケールが相似であれば同様の結果が得られる。

(6) 小型二次元地盤の浸透破壊⁹⁾

小型二次元地盤の浸透破壊実験及び浸透流・安定解析を行い、① 矢板の根入れ効果、掘削の影響、② 相対密度の効果、粒径の効果、層状地盤の効果、そして、③ 実験結果のスケール効果や無次元化・一般化表示、土粒子挙動の把握と破壊メカニズム、について考察した。ここでは、とくに、項目②の考察で得られた成果について述べる。

小型二次元浸透破壊実験(H2D test)において、相対密度 D_r が浸透流および浸透破壊特性に及ぼす影響について考察し次の結論を得た。

まず、中密度($D_r \approx 50\%$)の地盤について、

① 流量 Q_{15} は、 H の増加とともに最初直線的に増加していくが、 H がある値 H_d (流量急増時水頭差)に達すると急激に増加する。そして、 H が H_f (破壊時水頭差)になると地盤は最終的に破壊する。

② 地盤は、 H_y (変形開始時水頭差)に達すると、矢板壁近傍表面において地盤変形(下流側隆起および/または上流側沈下)が生じる。 H_y (変形開始時水頭差)は H_d とほぼ等しい。

③ $H_y (= H_d)$ は、Prismatic failure concept による理論限界水頭差 H_c とほぼ等しい。すなわち、 $H_y = H_d = H_c$ である。

次に、 D_r の効果について、

④ H_f/H_c は D_r によらずほぼ一定である。また、 $H_f \approx 1.12 H_c$ である。

⑤ 破壊後の上流側地盤斜面の水中安息角は D_r の増加につれて増加する。

⑥ $D_r < 40\%$ のゆるい地盤では、地盤変形開始前に矢板下端近傍における土粒子の微小移動が発生する。また、 $H_y = H_c$ である。

⑦ $60\% < D_r < 80\%$ の密な地盤では、地盤変形開始前に矢板下端近傍における土粒子の微小移動は起こりにくく、地盤変形で流量の増加が突発的に起こる。また、 $H_y > H_c$ である。

⑧ D_r が 80% を超えた地盤では、地盤変形と破壊は同時に起こる。また、 $H_y = H_f$ である。

<引用文献>

1) Tsutomu Tanaka, Shuang Song, Yuki Shiba, Shinya Kusumi, and Kazuya Inoue, Seepage Failure of Sand in Three Dimensions -Experiments and Numerical Analyses-, Sixth International Conference on Scour and Erosion

(ICSE-6), 2012, 1535-1542.

2) 田中 勉, 永井 茂, 廣瀬 哲夫, 三木 昂史, 各種基準類における地盤浸透破壊に対する安全率算定方法と考え方, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.19, 2015, 284-307.

3) 田中 勉, 参鍋漱祐, 永井 茂, 笠松晃次, 井上一哉, 二次元矢板締切り地盤の浸透破壊における PIV 解析と地盤形状の変化, 地盤工学会誌「土と基礎」, 査読有, Vol.64, No.2, 2016, 18-21.

4) Tsutomu Tanaka, Wataru Takashima, Pham Thi Hanh Tran, Ken Urata and Nobuhiro Uemura, A Case Study on Seepage Failure of Bottom Soil within Double-Sheet-Pile Wall-Type Ditch, Sixth International Conference on Scour and Erosion (ICSE-6), 2012, 1543-1550.

5) 田中 勉, ファン ティ ハン チャン, 橋脚掘削工事におけるメタンガスによるパイピング発生事例と解析, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.17, 2013, 285-295.

6) 永井 茂, 田中 勉, 松浦良治, K 線高架橋下部工の深礎掘削に伴うボイリングの発生事例と解析, 日本地下水学会誌, 査読有, Vol.58, No.02, 2016, 195~203.

7) 永井 茂, 田中 勉, 久住慎也, 締切り地盤の三次元浸透破壊に関する事例解析, 農業農村工学会論文集, No.302, 2016, 19-30.

8) 田中 勉, 永井 茂, 三木 昂史, 浸透破壊問題における限界水頭差の無次元化に関する考え方, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.19, 2015, 266-276.

9) 田中 勉, 永井 茂, 笠松晃次, 前田直人, 上野夏貴, 藤井理央, 井上一哉, 小型二次元矢板締切り地盤において相対密度が浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.22, 2018, 印刷中.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

① 永井 茂, 田中 勉, 矢板締切り地盤における基準類算定式による浸透破壊安全率と上流側掘削残土の影響, 農業農村工学会論文集, 査読有, No.305 (Vol.85, No.2), 2017, 103-111 (pp.II 103-II 111).

② 永井 茂, 田中 勉, 笠松晃次, 矢板締切り地盤の地盤改良が浸透破壊安定性に及ぼす効果, 農業農村工学会誌, 査読有, Vol.85, No.9, 2017, 39~42.

③ 永井 茂, 田中 勉, 久住慎也, 締切り地盤の三次元浸透破壊に関する事例解析, 農業農村工学会論文集, 査読有, No.302 (Vol.84, No.2), 2016, 19-30 (pp.II 19-II 30).

④ 田中 勉, 参鍋漱祐, 永井 茂, 笠松晃次, 井上一哉, 二次元矢板締切り地盤の浸透破

壊における PIV 解析と地盤形状の変化, 地盤工学会誌「土と基礎」, 査読有, Vol.64, No.2, 2016, 18-21.

- ⑤ Tsutomu Tanaka and Takashi Miki, Non-dimensional formulization of the critical hydraulic head difference for seepage failure of soil in front of sheet piles, Eighth International Conference on Scour and Erosion (ICSE-8), 査読有, 2016, 1075-1084.
- ⑥ Tsutomu Tanaka, Sosuke Sannabe, Shigeru Nagai, Koji Kasamatsu & Kazuya Inoue, Experimental findings of soil particle movement in 2D seepage failure of soil using Particle Image Velocimetry, Eighth International Conference on Scour and Erosion (ICSE-8), 査読有, 2016, 507-514.
- ⑦ 永井 茂, 田中 勉, 松浦良治, K 線高架橋下部工の深礎掘削に伴うボーリングの発生事例と解析, 日本地下水学会誌, 査読有, Vol.58, No.02, 2016, 195~203.
- ⑧ Tsutomu Tanaka, Ritsu Tachimura, Shinya Kusumi, Shigeru Nagai and Kazuya Inoue, Experimental findings of 3D seepage failure of soil within a cofferdam, Proc. 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 査読有, 2015, 1608-1613.
- ⑨ Tsutomu Tanaka, Shinya Kusumi, Takashi Miki, Ritsu Tachimura and Kazuya Inoue, A case study of piping failure of dams caused by Typhoon No.15 in 2011 on Awaji Island, Seventh International Conference on Scour and Erosion (ICSE-7), 査読有, 2014, 95-103.
- ⑩ Tsutomu Tanaka, Shinya Kusumi and Kazuya Inoue, Effects of Plane Shapes of a Cofferdam on 3D Seepage Failure Stability and Axisymmetric Approximation, Proc. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 査読有, 2013, 2103-2106.

[学会発表] (計 24 件)

- ① 前田直人, 田中 勉, 笠松晃次, 藤井理央, 井上一哉, 小型二次元矢板締切り地盤において相対密度が浸透破壊に及ぼす影響, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017.08.30, 日本大学生物資源科学部湘南キャンパス (神奈川県)
- ② 前田直人, 田中 勉, 永井 茂, 笠松晃次, 井上一哉, 小型二次元矢板締切り地盤の浸透破壊特性, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.07.12, 名古屋国際会議場 (愛知県)
- ③ 田中 勉, 永井 茂, 笠松晃次, 阪本達彦, 前田直人, 井上一哉, 小型二次元矢板締切り地盤の浸透流特性 - 相対密度の効果 -, 平成 28 年度農業農村工学会京都支部, 2016.11.16, リバーサイドホテル (大阪府)
- ④ 永井 茂, 田中 勉, 笠松晃次, 前田直人, 矢板締切り地盤における地盤改良工法の浸透破壊安定性に及ぼす効果, 平成 28 年度農

業農村工学会京都支部, 2016.11.16, リバーサイドホテル (大阪府)

- ⑤ 田中 勉, 永井 茂, 笠松晃次, 前田直人, 井上一哉, 小型二次元地盤の浸透破壊実験と限界水頭差の無次元化式の妥当性, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016.09.13, 岡山大学 (岡山県)
- ⑥ 参鍋漱祐, 田中 勉, 永井 茂, 井上一哉, PIV 解析を用いた小型二次元実験地盤における土粒子挙動の把握, 平成 27 年度農業農村工学会京都支部, 2015.11.19, ピアザ淡海 (滋賀県)
- ⑦ 三木昂史, 田中 勉, 永井 茂, 参鍋漱祐, 井上一哉, 二次元地盤浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化に関する研究, 平成 27 年度農業農村工学会大会, 2015.09.01, 岡山大学 (岡山県)
- ⑧ 館村 立, 田中 勉, 井上一哉, 三次元浸透破壊実験地盤の詳細解析とその考察, 平成 26 年度農業農村工学会京都支部, 2014.11.13, ホテルグランヴェール岐山 (岐阜県)
- ⑨ 柴田奈緒, 田中 勉, 三木昂史, 井上一哉, 二次元矢板締切り層状堆積地盤の浸透流及び浸透破壊特性, 平成 26 年度農業農村工学会大会, 2014.08.26, 新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ (新潟県)
- ⑩ 館村 立, 田中 勉, 久住慎也, 井上一哉, 三次元地盤の浸透破壊実験及び解析, 平成 25 年度農業農村工学会大会, 2013.09.03, 東京農業大学 (東京都)
- ⑪ 田中 勉, 宋 爽, 李 麗, 井上一哉, 小型二次元地盤(1/2 model)の浸透破壊 - 理論解析と実験 -, 第 48 回地盤工学研究発表会, 2013.07.25, 富山国際会議場 (富山県)

[その他]

施設環境学のホームページ

<http://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-hy-steng/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 勉 (TANAKA, Tsutomu)
神戸大学・大学院・農学研究科・教授
研究者番号: 20144602

(2) 研究分担者

井上 一哉 (INOUE, Kazuya)
神戸大学・大学院・農学研究科・准教授
研究者番号: 00362765

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()